

Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad

Cristina Cuerno-Rejado¹, Luis García-Hernández¹, Alejandro Sánchez-Carmona¹, Adrián Carrio², Jose Luis Sanchez-Lopez², Pascual Campoy²

¹ Universidad Politécnica de Madrid (España)

² Centro de Automática y Robótica, UPM-CSIC (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7781>

La aviación no tripulada comparte sus orígenes con la aviación tripulada desde el momento en que los primeros pasos de los pioneros de esta última tuvieron como objetivo la construcción de pequeños modelos no tripulados a escala con el objetivo de mejorar los diseños tripulados. Pioneros como Cayley, Ninomiya, Du Temple, Langley o Cody crearon estas primeras aeronaves no tripuladas y aunque a ninguno de ellos se le considera el verdadero creador de este concepto, todos ellos contemplaron el desarrollo inicial de la aviación no tripulada. No fue hasta la Primera Guerra Mundial que tuvo lugar el vuelo de la primera aeronave no tripulada fabricada como tal, con otros objetivos más allá de la simple validación de diseños de aeronaves. Desde el remoto año 1917 hasta la actualidad el desarrollo de estas aeronaves ha sido objeto de constantes mejoras, con períodos más o menos fructíferos, siendo hoy en día objeto de una expansión sin precedentes con cientos de plataformas muy diferentes en peso, dimensiones y otras características así como innumerables misiones, tanto civiles como militares, por llevar a cabo. En este trabajo y en la segunda parte del mismo se resumen y explican las posibles configuraciones, tipologías y aplicaciones de estas aeronaves.

Las aeronaves no tripuladas han recibido muy diferentes denominaciones a lo largo de su historia. Desde la llamada "Teleautomaton" de Tesla (el primer torpedo de la historia), el "torpedo aéreo" de Sperry, ancestros de los actuales misiles de crucero, los blancos aéreos o "drones" (término ampliamente extendido a día de hoy para referirse a los vehículos aéreos pilotados por control remoto, el cual se

definirá más tarde), aeromodelos de recreo o modelos deportivos controlados por radio, hasta un amplio conjunto de nombres por medio de acrónimos, como RPV, SPA, UMA, UAV, UAS o el reciente RPAS, hay un amplio número de denominaciones para un mismo concepto.

Los términos UAV y RPV no son más que dos entre los muchos nombres que han venido recibiendo las aeronaves robóticas no tripuladas a lo largo de su existencia, habiendo sido la mayoría de ellos acuñados en el mundo militar. Parece por tanto apropiado el referirse a las definiciones dadas por organizaciones relevantes en el campo de la defensa para una posible definición de lo que es un UAV. Al consultar al Departamento de Defensa de EE.UU. [1] por el término *aeronave no tripulada* se encuentra la siguiente definición: "una aeronave que no transporta a un operador humano y que es capaz de volar con o sin control remoto humano", y se define *sistema aéreo no tripulado*, de la siguiente manera: "aquel sistema cuyos componentes incluyen el equipo, las comunicaciones y el personal necesarios para controlar una aeronave no tripulada, también denominado UAS" (del inglés *Unmanned Aircraft System*).

Por otro lado, el Ministerio de Defensa del Reino Unido [2], define *aeronave no tripulada* como "una aeronave que no transporta a un operador humano, que se opera por control remoto mediante niveles de funcionamiento automático variables, que normalmente es recuperable y que puede transportar cargas tanto letales como no letales"; en el Reino Unido, los misiles de crucero y balísticos no se consideran aeronaves no tripuladas, mientras que se define "sistema aéreo no tripulado" como "un sistema, cuyos componentes incluyen la aeronave no tripulada y todo el equipamiento, comunicaciones y personal necesarios para controlar la aeronave no tripulada". Es evidente que los términos UAS y RPAS se emplean indistintamente para describir los sistemas aéreos no tripulados y los pilotados por control remoto. Esta definición británica es mucho más restrictiva que la americana. Mientras que

esta última permite que la aeronave sea completamente autónoma, en la definición británica se asume que siempre existe un piloto remoto, pero la aeronave puede disponer de un nivel de automatización más o menos alto. Esta definición excluye además los misiles, tanto de crucero como balísticos.

Adicionalmente, el Ministerio de Defensa británico ha introducido una terminología clave últimamente. Resulta interesante prestar atención al último de los acrónimos empleado hoy en día de forma extensiva: RPAS. En 2011 la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI, en inglés ICAO: *International Civil Aviation Organization*), el organismo de Naciones Unidas especializado en aviación civil y del cual España forma parte, habiendo firmado el Convenio de Chicago de 1944, publicó su Circular 328 [3] en la cual se reconocen como aeronaves los vehículos aéreos no tripulados, con todas las implicaciones que ello supone. Además, de entre todas las posibles tipos, OACI selecciona aquellos controlados por control remoto como aptos para la aviación civil y no otros (como las aeronaves autónomas). De este modo se han introducido los términos que se indican a continuación, tendiendo validez a día de hoy y aplicación a nivel mundial en prácticamente todos los ámbitos:

- Aeronave pilotada por control remoto, RPA (del inglés *Remotely-Piloted Aircraft*): aeronave de la cual el piloto no se encuentra a bordo;
- Sistema aéreo pilotado por control remoto, RPAS (del inglés *Remotely-Piloted Aircraft System*): un conjunto de elementos configurables formado por un RPA, su estación de tierra asociada (RPS - *Remote Pilot Station*), el sistema de comunicación requerido para el comando y control y cualquier otro elemento necesario en cualquier momento durante la operación del vuelo.

En el caso de España el término RPA ha sido igualmente adoptado e incorporado a las regulaciones nacionales a través de la Ley 18/2014 (Artículos 50 y 51), entrando en vigor el 15 de octubre de 2014. Mediante esta Ley se regula en España el uso civil de los RPAS con una masa máxima al despegue inferior a los 150 kg. El

uso civil de los RPAS con peso máximo en despegue superior a los 150 kg se regula a nivel europeo, siendo la Agencia Europea de Seguridad Aérea, EASA por su acrónimo en inglés (*European Aviation Safety Agency*), el órgano competente en ese caso.

Más allá de los detalles de las citadas definiciones, este artículo pretende revisar el trasfondo histórico de estos sistemas, resumiendo al final de cada una de las secciones el estado del arte actual en términos de las diferentes configuraciones que pueden adoptar a día de hoy las plataformas existentes. Posteriormente un segundo artículo analizará en detalle los diferentes tipos de operaciones que estas aeronaves pueden llevar a cabo, especialmente en misiones civiles donde el número de plataformas y de operaciones crecen a diario de forma exponencial.

1. HISTORIA DE LA AVIACIÓN NO TRIPULADA

1.1. DE LOS PIONEROS A LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

En Europa, los pioneros de la aviación fueron los primeros en desarrollar los principios físicos de la aeronáutica y trataron de aplicarlos para probar diseños viables volando modelos sin personas a bordo, los cuales podrían considerarse los primeros UAVs o RPAs de la historia. Los pioneros de la aviación de varios países del mundo mantuvieron una progresión común, evolucionando desde los planeadores hasta los vehículos aéreos no tripulados propulsados y posteriormente a los vuelos tripulados. Sufrieron no obstante una barrera tecnológica al no disponer de un motor suficientemente potente que pudiera aplicarse a sus diseños. Los ingenieros americanos fueron más eficaces y fueron capaces de superar dicho obstáculo, siendo los primeros en realizar un vuelo tripulado propulsado por un motor [4].

Es necesario no obstante mencionar a Nikola Tesla, a quien se considera creador del misil de crucero y de la aviación no tripulada. En 1898 inventó el "*Teleautomaton*": un vehículo naval capaz de moverse, detenerse, girar a izquierda o derecha y enviar diferentes señales de radio. En 1912 la invención resurgió brevemente como prototipo de torpedo radiocontrolado. Sin embargo, Tesla no fue el único en desarrollar armas controladas remotamente. En 1888, el inventor irlandés Louis Brennan demostró que era posible controlar un torpedo por el río Meadway (Inglaterra) remotamente mediante un cable. Posteriormente, en 1908, el oficial de la

artillería francesa René Lorin propuso una bomba voladora propulsada a reacción, similar al futuro V-1 alemán, que podía controlarse de forma remota mediante señales de radio.

Durante la Primera Guerra Mundial, la aviación convencional progresó rápidamente, mientras que la aviación no tripulada parecía obstaculizada por la falta de desarrollo tecnológico. Las barreras se encontraban en problemas de estabilización automática, control remoto y navegación autónoma. Elmer Ambrose Sperry fue la primera persona en resolver todos estos problemas sobre un avión no tripulado viable. Elmer Sperry realizó con éxito algunos experimentos con giróscopos para aplicaciones marítimas, que lo llevaron a desarrollar un giroestabilizador para un avión en 1909, aunque era demasiado pesado y mostró un funcionamiento mediocre. Apoyado por el pionero de la aviación Glenn Hammond Curtiss, mejoró su invento, que fue probado de nuevo en 1911. El sistema era mucho más pequeño y permitía controlar el avión en los tres ejes, acoplándolo a los mandos del avión por medio de servomotores. En 1914 ganó un premio en una exposición en Francia, incluyendo una invención anterior: un horizonte artificial primitivo [5].

En 1915 el inventor de sistemas de iluminación eléctrica, Peter Cooper Hewitt, se puso en contacto con Sperry para retomar las ideas de Tesla utilizando como base el dispositivo inventado por este último. En 1916 se llevó a cabo la primera demostración del dispositivo de Sperry para guiar un avión convencional, el Avión Automático Hewitt-Sperry, cuyo piloto despegó antes de conectar el piloto automático. Posteriormente el avión volaba una ruta programada y luego picaba. El piloto recuperaba la aeronave en ese momento mientras regresaba a la pista de aterrizaje. En 1917 la Armada de EE.UU. financió la idea y entregó cinco hidroaviones "Curtiss N-9" para desarrollar el experimento.

Paralelamente la Curtiss Aeroplane & Motor Company se embarcaron en la fabricación de fuselajes para torpedos aéreos no tripulados, entregando los primeros seis llamados Speed Scout a finales de 1917. El primer vuelo controlado con éxito de un avión no tripulado tuvo lugar finalmente el 6 de marzo de 1918, 14 años después del de los hermanos Wright. En octubre de 1918 fue equipado con catapultas. El posteriormente llamado Curtiss-Sperry Aerial Torpedo era un biplano de madera no tripulado, con un peso de sólo 270 kg, incluyendo una carga útil de 136 kg y era impulsado por un motor Ford de

40 CV. El método de guiado hacia su objetivo era primitivo pero ingenioso. Una vez conocidos el viento y la distancia al objetivo, se calculaba la velocidad del motor requerida para alcanzar el objetivo. El avión se controlaba con un simple giróscopo teniendo, además, un barómetro aneroide disponible a bordo. Una vez alcanzada la velocidad calculada, las alas se separaban del fuselaje, dejándolo caer sobre el objetivo.

Los primeros sistemas desarrollados como armas de largo alcance (precursores de los actuales misiles de crucero) fueron dispositivos como el anteriormente citado torpedo aéreo americano de 1917, el torpedo aéreo Liberty Eagle, más conocido como Kettering "Bug" de 1918 y el blanco aéreo británico "AT", iniciado en 1914. "Kettering bug" era un biplano más ligero diseñado para transportar una carga útil de 82 kg, y tuvo un comportamiento similar al del torpedo Sperry. Por otro lado, el A.T. británico era un avión monoplano no tripulado radio-controlado y propulsado por un motor de 35 caballos de potencia. El concepto de la serie A.T. sirvió para demostrar la viabilidad del uso de señales de radio como sistema de guiado para volar el avión a su destino.

Sin embargo, ninguno de estos dispositivos fue desarrollado con éxito para ser utilizado con fines militares antes del final de la Primera Guerra Mundial. Aunque marcaron el comienzo de una nueva era tecnológica, los sistemas de orientación eran toscos y poco fiables. Durante la década de 1920 se reavivó el interés del ejército británico por los sistemas no tripulados, sobre todo por parte de la Royal Navy. De este modo fue desarrollado un avión monoplano capaz de transportar un cargamento militar de 114 kg, siendo capaz de volar a una distancia de 480 kilómetros, y realizando su primer vuelo en 1927. Estaba equipado con un motor de 200 CV Armstrong-Siddeley Lynx y fue bautizado como LARNYX, cuyo significado era "arma de largo alcance con motor Lynx". Este avión disponía de un sistema controlado por radio durante los primeros momentos del vuelo, pero luego era capaz de seguir un plan de vuelo específico. Sólo se construyeron doce unidades, de las cuales cinco se equiparon con cargamento militar y se probaron en el desierto de Irak [5].

1.2. LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL Y LA POSGUERRA

Reino Unido decidió abandonar el desarrollo de misiles crucero, desplazando su interés hacia el desarrollo de blancos

aéreos completamente radiocontrolados, a pesar de su limitado alcance. Con ese fin se realizaron varias pruebas en un modelo de Fairey, pero entre 1934 y 1943 se construyeron cuatrocientos veinte modelos radiocontrolados de un nuevo blanco denominado "Queen bee", destinados a ser utilizados por la Marina y el Ejército. El "Queen bee" era una versión de la aeronave De Havilland DH.82 Tiger Moth. Estos blancos fueron utilizados principalmente para el entrenamiento de las fuerzas de artillería de ambos ejércitos durante la Segunda Guerra Mundial. Al mismo tiempo, en EE.UU., el RP4 de la Compañía Radioplane fue desarrollado y producido por millares como sistema de entrenamiento para las fuerzas armadas durante la guerra. La utilización de estos aviones supuso un banco de pruebas perfecto para desarrollar y mejorar la incipiente tecnología de control remoto por radio.

Sin embargo Alemania también trabajó en el concepto de misiles crucero durante la Segunda Guerra Mundial con el "Fieseler Fi 103" o "Vengeance Weapon 1" (comúnmente conocido como V1), que fue el primer misil crucero equipado con un motor pulsorreactor. El sistema de guiado era sólo un poco mejor que en dispositivos anteriores. Se basaba en un sistema barométrico para regular la velocidad y la altura, y un anemómetro empleado para estimar la distancia. Alemania construyó unas treinta mil unidades y lanzó más de veinte mil, aproximadamente. Los lugares de lanzamiento se encontraron principalmente en los Países Bajos, el norte de Francia y el oeste de Alemania, con el objetivo de bombardear a Bélgica e Inglaterra.

1.3. LA GUERRA FRÍA

Después de la guerra la compañía Radioplane, posteriormente Northrop, desarrolló con éxito una serie de objetivos aéreos no tripulados llamados "Falconer" o "Shelduck", que continuó en producción hasta los años 80, en versiones que fueron evolucionando. En general, el desarrollo exitoso de los motores a reacción llevó al desarrollo de blancos más rápidos y de mayor alcance, como el "Ryan Firebee" (posteriormente llamado Teledyne-Ryan), cuyo programa se había iniciado a finales de los años 50. Estos fueron modificados para portar armas de ataque terrestre [4].

Posteriormente el "Firebee", al igual que otros vehículos aéreos no tripulados de aquel entonces, se equipó con cámaras para misiones de reconocimiento sobre territorio enemigo. Estas aeronaves podían operar a baja altitud, donde era posi-

ble el control por radio bajo línea de visión desde una estación de control de tierra, o a altitudes superiores controladas desde otras aeronaves tripuladas. Estos aviones espía eran difíciles de detectar y el hecho de ser no tripulados era muy interesante desde el punto de vista de evitar la captura del piloto en caso de que la aeronave espía fuese interceptada. El "Chukar" de Northrop era también un blanco equipado con un motor de tipo turborreactor diseñado en esa década, pero mucho más pequeño y más ligero que el "Firebee". La versión desarrollada en los años 70 estaba equipada con un piloto automático avanzado para operaciones más allá de la línea de vista (Beyond-Line-Of-Sight, BLOS) [4].

Por último, el DASH (*Anti-Submarine Helicopter Drone* o drone helicóptero anti-submarinos) fue el primer UAV de ala rotatoria, que además introdujo por primera vez la misión de ataque desde un barco. Era un diseño dedicado, y no la adaptación de un sistema tipo blanco. Su objetivo de diseño era que fuese capaz de volar desde las fragatas de la Marina estadounidense y transportar torpedos o cabezas nucleares para atacar submarinos enemigos que estaban lejos del alcance de las otras armas disponibles en la fragata [4].

1.4. DESDE 1970 A LA ACTUALIDAD

Los años 70 y parte de los 80 del siglo XX serían testigos del desarrollo de diversos UAS diseñados para operaciones de reconocimiento y vigilancia tanto de corto como de largo alcance, y también para misiones de gran altitud. Bajo la influencia de la Guerra Fría, estos sistemas se volvieron más sofisticados tanto en requisitos de comunicaciones de misión como de seguridad. Es importante señalar que se creía que la siguiente guerra mundial sería nuclear y esto llevó a la conclusión de que las misiones de reconocimiento, a raíz de un intercambio nuclear serían suicidas para las tripulaciones debido a la radiación residual. Este hecho puso de manifiesto la importancia del desarrollo

de los UAS en aquellos años, como aviones de reconocimiento.

Así, la Fuerza Aérea de EE.UU. comenzó a explorar el UAS "HALE" (*High Altitude Long Endurance*) para el reconocimiento a finales de los años 60. LTV Electrosystems fue contratado en 1968 para la construcción de dos prototipos funcionando con y sin tripulación, conocidos como "L-450F" y basados en el planeador "Schweizer 2-32". El primero voló en 1970 y el segundo se convirtió en el UAV "XQM-93". Posteriormente otro modelo de LTV se puso a prueba en el marco del programa *Compass Dwell*. Fue el avión "Martin Marietta 845A", que voló en 1972. El programa fue abandonado, pero antes, el Martin obtuvo un récord de 27 horas de autonomía de vuelo.

Posteriormente, el "Boeing YQM-94 Gull", o "Cope-B" fue el ganador en 1971 de la competición *Compass Cope USAF* para el desarrollo de un sistema de reconocimiento HALE. El objetivo del programa era llegar a los 16.770 metros de altitud, y 20 horas de autonomía de vuelo llevando una carga útil de 680 kg. Esta carga útil incluía equipos para reconocimiento visual, relé de comunicaciones e inteligencia de señales (SIGINT) en un rango de 300 km, que funcionase de día y de noche y bajo cualquier condición climática. El primer prototipo sufrió un accidente y mientras se preparaba una segunda unidad, su competidor directo, el "Teledyne Ryan YQM-98 (Cope-R)" voló con gran éxito. Logró un récord de autonomía de vuelo de 28 horas y 11 minutos. El diseño del "Cope-R 275" debía mucho a su predecesor (del mismo fabricante) "Compass Arrow (AQM-91 Firefly)" que era un UAV de reconocimiento, y vaticinó muchas características externas que se utilizarían en su nuevo diseño, el "Global Hawk", 29 años después [5].

Por otro lado, en el campo de los UAS tipo MALE (*Medium Altitude Long Endurance*) es necesario volver al proyecto Amber de DARPA (agencia americana de proyectos de investigación avanzada de

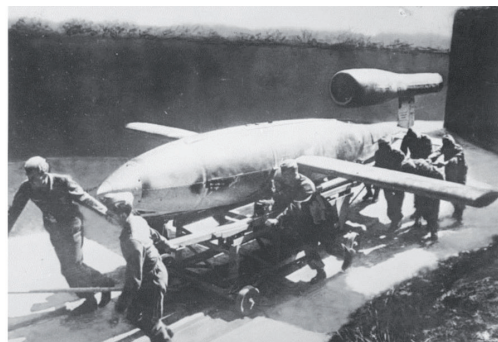


Fig. 1: Lado izquierdo, el Kettering bug, y lado derecho, el Vengeance Weapon 1 (V1)

defensa). Amber era un proyecto conjunto de DARPA y la Marina de EE.UU. dirigido a la construcción de un UAV tipo MALE de bajo coste capaz de ser utilizado como arma o como sistema de reconocimiento. El proyecto Amber tuvo finalmente como objetivo el desarrollo de una versión de bajo coste para exportar el llamado "Mosquito-750", que es el antepasado directo de la famosa serie Predator, construida por General Atomics. El primer Predator, la versión A, voló por primera vez en operaciones en Albania en 2001. Hasta la fecha se han completado las versiones A, B y C, con diferencias notables en su planta propulsora, actuaciones y carga útil.

Finalmente, para concluir este repaso histórico de la evolución de los UAS, se debe mencionar que durante los años 80 varios ejércitos en todo el mundo buscaron extender las operaciones ISTAR (inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento) en tiempo real con UAS sobre distancias más largas (del orden de 100 km). Para ello era necesario mejorar la exactitud y fiabilidad de los sistemas de control de vuelo. Se construyeron con dicho objetivo varios modelos de UAS de corto y medio alcance, de los cuales el "IAI Scout" puede ser considerado como el primero en adoptar la configuración conocida como el cono de cola doble utilizada en la actualidad y la hélice empujadora. Este sistema, junto con el modelo similar "Tadiran Mastif", condujeron al "IAI (Mazlat) Pioneer", que ha estado en servicio tanto en Israel como en los EE.UU. hasta mediados de la década de 2000.

2. CONFIGURACIONES GENERALES DE LOS UAV ACTUALES

2.1. MISIONES

Es posible clasificar las misiones que los UAVs pueden realizar en civiles o comerciales, y misiones militares o de defensa. Hoy en día, la mayoría de las misiones están relacionadas con propósitos militares, y las grandes inversiones se centran en este campo así como en sus futuras aplicaciones. Los UAVs son usados como apoyo por los ejércitos y las fuerzas de seguridad con el objetivo de reforzar su seguridad operacional en misiones que requieren un gran despliegue, con alta movilidad y facilidad de transporte.

Por un lado, las misiones militares pueden clasificarse en tres categorías diferentes: misiones navales, misiones terrestres y misiones aéreas. Cada una de estas categorías tiene varios tipos de tareas posibles. En las operaciones navales,

la detección y el seguimiento de buques, la confusión de radar, la protección portuaria, la guerra antisubmarina, la inteligencia electrónica, los radioenlaces o la vigilancia marítima, son las más significativas. El reconocimiento y la vigilancia, la designación de objetivo, la inteligencia electrónica, el apoyo a los diferentes sistemas en el campo de batalla, o la detección y destrucción de minas terrestres, son algunas de las aplicaciones principales en las misiones terrestres. Por último, en las misiones aéreas es posible encontrar aplicaciones como la inteligencia electrónica, la alerta temprana contra otros aviones enemigos, la eliminación de los sistemas antiaéreos y la interceptación, o el radar "pre-strike" [4].

Por otro lado, las misiones civiles y comerciales permiten una gran cantidad de aplicaciones. Algunas de ellas se centran en la agricultura (monitorización de los cultivos, siembra de cultivos y pulverización de fertilizantes), la fotografía y la cinematografía, "SAR" (búsqueda y rescate), la vigilancia de líneas eléctricas y tuberías, la extinción de incendios, la información del entorno, la posibilidad de actuar de proveedor de acceso a Internet, los servicios de telecomunicación o meteorológicos, ayudas al tráfico o a los agentes de la autoridad, la lucha contra la caza furtiva, la gestión de las emergencias y los desastres naturales, el transporte de órganos para trasplantes, las aplicaciones científicas, y muchas otras.

Es aconsejable prestar atención a algunas de las características de los vehículos aéreos no tripulados a la hora de seleccionar la aeronave. La misión involucra a todos los requisitos para llevarla a cabo, las actuaciones (despegue, aterrizaje, autonomía y alcance), velocidades disponibles, maniobras o la carga útil máxima que el vehículo aéreo puede transportar a bordo. La posibilidad de mejorar el modelo existente de la plataforma para readaptarse en el futuro con el objetivo de llevar a cabo nuevas misiones también es importante. La experiencia previa para asegurar las decisiones correctas en el desarrollo del proyecto, los aspectos económicos, así

como la seguridad de operación son otros aspectos a tener en cuenta.

2.2. SISTEMAS

Un vehículo aéreo no tripulado es un sistema que contiene muchos sub-sistemas en su interior al mismo tiempo, pero también es una parte de un sistema complejo mayor compuesto de varios elementos, tales como otras plataformas aéreas y terrestres, satélites y las comunicaciones entre el UAV y los otros componentes mencionados.

Como una primera aproximación, es posible distinguir dos partes en el UAS: una aérea y otra terrestre. La parte aérea está formada por tres sistemas diferentes: la plataforma aérea, la carga útil necesaria para llevar a cabo la misión, y una parte del sistema de comunicaciones. La parte de tierra también incluye diversos sistemas: el sistema de control de la aeronave y su carga útil, el equipo de comunicaciones, y la estación de control terrestre ("Ground Control Station", GCS). La GCS permite mostrar la información de todos los sensores a los usuarios correspondientes en una de las dos maneras siguientes, una directamente y otra a través de redes de comunicación. Por último, el elemento de unión entre estas dos partes es el sistema de lanzamiento y recuperación.

A continuación se van a describir en detalle los diferentes sistemas que se acaban de citar. La aeronave (plataforma aérea) tiene muchos elementos diferentes, subsistemas de la plataforma. Hay una amplia variedad de plataformas aéreas, que varían en tamaño (desde micro vehículos aéreos no tripulados hasta aviones con 40 metros de envergadura como el *Global Hawk*), en geometría, en la forma de generar sustentación (de ala fija, de ala rotatoria...) o en el sistema de propulsión (turborreactor, motores de combustión interna, motores eléctricos...). La plataforma también cuenta a bordo con los sistemas de posicionamiento, navegación, comunicación y enlace de datos. Se necesitan todos estos componentes para lograr el control de vuelo, así como el control de la misión y la descarga



Fig. 2: Lado izquierdo, el Predator A, y lado derecho, el IAI Scout

de la información significativa y relevante de los sensores.

La carga útil se define por los medios y equipos necesarios para la misión específica, tales como sensores EO (electro-ópticos) e IR (infrarrojos), los designadores IR de objetivo, equipos de guerra electrónica, sistemas de búsqueda y rescate, sistemas radar, armas, etc. La GCS es parte de la sección terrestre. Contiene los sistemas y equipos dedicados a la planificación y control de la misión (el control del vuelo, la carga útil...) y para la distribución de la información a los usuarios externos, comunicaciones ATC (*Air Traffic Control*), etc. Además, la GCS tiene el sistema de comunicaciones y el enlace de datos LOS (Línea de Vista, "*Line-of-Sight*") o BLOS (Más Allá de la Línea de Vista, "*Beyond Line-of-Sight*") necesarios para acceder a la plataforma o a los sistemas externos.

El sistema de lanzamiento y recuperación ("*launch and recovery system*", LRS) a menudo se considera como una parte de la estación de control de tierra. El propósito de este sistema es el control de la plataforma durante el rodaje, el despegue, los primeros intervalos de vuelo, y la aproximación y el aterrizaje (todo lo relacionado con su lanzamiento y recuperación). Estos LRS varían según el peso y el tamaño del UAS. Así, los vehículos pueden despegar y aterrizar haciendo uso de su tren de aterrizaje (guiados o automáticos-ATOL), pueden ser lanzados desde una rampa con actuadores neumáticos o cohetes auxiliares, pueden ser lanzados con la mano, etc., y también se puede recuperar con paracaídas, redes, u otros dispositivos.

Por último, los sistemas de comunicación requeridos se agrupan en otro subsistema, dividido entre la plataforma aérea y la estación de control de tierra. Este subsistema incluye: los terminales de los enlaces de datos (a bordo y en tierra), la terminal de satélite para comunicaciones

BLOS, el equipo de comunicación para su actuación como relé de la comunicación, etc.

2.3. CLASIFICACIÓN

De todos los sistemas anteriores, es habitual prestar especial atención a la plataforma aérea con el fin de establecer una clasificación. Una posible clasificación se basa en el alcance, la altitud, la autonomía y el peso máximo al despegue ("*Maximum Take-Off Weight*", MTOW) de las plataformas. La Tabla 1 presenta la clasificación de los vehículos aéreos de acuerdo con estos cuatro parámetros.

Una vez mostrada la tabla anterior, se procede a clasificar los vehículos aéreos no tripulados en dos grupos diferentes: UAVs de ala fija y UAVs de ala rotatoria.

2.3.1. UAVs de ala fija

Este tipo de vehículos tiene siempre despegue horizontal. Si se observa la geometría de las alas, es posible encontrar diferentes diseños: convencional, "*canard*", ala volante, delta, "*joined wing*", "*box-wing*", "*blended-wing-body*" (BWB), rectangular o trapezoidal, con o sin flecha, ala alta, ala media o ala baja. También es posible establecer otra clasificación en función de la geometría de la cola: estabilizador horizontal de cola, cola en V, y doble cola o en forma de H.

Como punto final de esta clasificación es posible presentar otra taxonomía basada en los motores. Hay dos posibilidades en el momento de la selección de la planta propulsora: turborreactor para régimen subsónico alto, y turbo-hélice o motores de pistón con hélice, para régimen subsónico bajo. La posición del motor puede diferir de una plataforma a otra: en la parte delantera de la aeronave (hélice tractora), en el extremo trasero de la aeronave (normalmente hélice empujadora y turborreactores) o bajo el ala (turborreactor, hélice tractora o empujadora con un nú-

mero par de motores). A continuación se presentan varias fotografías de diferentes vehículos aéreos no tripulados para mostrar algunas de las características citadas.

El Shadow 200 (RQ-7B) es un avión representativo de ala convencional. Este UAV se muestra en la figura 3 (lado izquierdo). En la figura 3 (lado derecho) se aprecia una configuración canard con el UAV Rustom-1. Un ejemplo de ala volante puede ser el X-47B, en la figura 4 (lado izquierdo). El X-47A tiene un ala delta y se muestra en la figura 4 (lado derecho).

Si la clasificación se hace atendiendo a la geometría de la superficie de cola, es habitual encontrar la cola convencional como la del Elbit Skylark I en la figura 5 (lado izquierdo), cola en V como la del Predator en la figura 2, o cola en H como la del IAI-Heron en la figura 5 (lado derecho).

Por último, si se presta atención al sistema motopropulsor, el Global Hawk, X-47B y X-47-A, por ejemplo, tienen un turborreactor que se pueden ver en la figura 6 (lado izquierdo), en la figura 4 (lado izquierdo) y en la figura 4 (lado derecho), respectivamente. Con hélice propulsora y con el motor situado en el extremo posterior del fuselaje, se encuentra el Shadow 200 (RQ-7B) o el Rustom-1, en la figura 3. El Elbit Skylark I tiene una hélice tractora en la parte delantera de la aeronave y se muestra en la figura 5 (lado izquierdo). Como se aprecia, hay una amplia variedad en las formas y geometrías que los UAVs pueden adoptar. La última imagen se reserva para el Proteus en la figura 6 (lado derecho), que tiene una configuración muy inusual.

2.3.1. UAVs de ala rotatoria

Los UAVs de ala giratoria vuelan aprovechando la sustentación generada por sus alas rotatorias o por las palas del rotor. Estas palas del rotor se montan generalmente en un solo mástil y giran en torno

Categoría de UAS	Alcance (km)	Altitud (m)	Autonomía (h)	MTOW (kg)
Estratosféricos	>2000	20000-30000	48	<3000
Elevada altitud y gran autonomía (" <i>High altitude and long endurance</i> ", HALE)	>2000	20000	48	15000
Altitud media y gran autonomía (" <i>Medium altitude and long endurance</i> ", MALE)	>500	14000	24-48	1500
Baja altitud y gran autonomía (" <i>Low altitude and long endurance</i> ", LALE)	>500	3000	Alrededor de 24	Alrededor de 30
Baja altitud y penetración profunda	>250	50-9000	0.25-1	350
Alcance medio	70 to >500	8000	6-18	1250
Alcance corto	10-70	3000	3-6	200
Mini	<10	<300	<2	<30
Micro	<10	<250	<0.5	<1

Tabla 1: Primera clasificación de los UAS en función de su alcance, altitud, autonomía y MTOW. [6]

a él, formando el sistema mecánico conocido como rotor. También hay diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria, que se pueden clasificar como: UAVs tipo helicóptero, UAVs tipo ciclogiro, UAVs tipo autogiro, o UAVs tipo girodino, dependiendo de la configuración de su(s) rotor(es).

Los UAVs tipo helicóptero pueden despegar verticalmente, mantener su posición ("hover"), volar hacia delante, hacia detrás y lateralmente, así como aterrizar verticalmente, usando uno o más motores durante todo el vuelo. Los helicópteros con un solo rotor principal para sustentación, requieren algún tipo de sistema de anti-par con el fin de compensar la guiñada, siendo el rotor de cola el sistema más común entre los vehículos aéreos no tripulados. Uno de los vehículos aéreos no tripulados más pequeños jamás diseñado es el pequeño Black Hornet Nano, un UAV tipo helicóptero de dimensiones 10 x 2,5 cm, que se muestra en la figura 7 (lado izquierdo).

En los UAVs tipo ciclogiro, las palas giran alrededor del eje horizontal, siendo éstas paralelas a dicho eje, ofreciendo avances en términos de eficiencia, velocidad, ruido y vibración. Los ciclogiros no deben confundirse con los aviones Flettner, que utilizan alas cilíndricas para generar sustentación, aprovechando el efecto Magnus. Aunque se construyeron una serie de ciclogiros en la década de 1930, los diseños exitosos datan sólo desde 2011 en adelante, siendo en la actualidad un campo activo de investigación (figura 8, lado izquierdo).

Los UAVs tipo autogiro, inspirados en el diseño de las aeronaves del ingeniero español Juan de la Cierva, utilizan un rotor sin motor impulsado por autorrotación para generar sustentación, mientras que el empuje es proporcionado por una hélice con motor, similar a la de un avión de ala fija, ofreciendo una mayor envolvente de vuelo a costa de velocidades más pequeñas (figura 8, lado derecho).

Los UAVs tipo girodino tienen gran importancia histórica, ya que según se ha mencionado, el girodino DASH, mostrado en la figura 9 (lado izquierdo) fue el primer UAV fabricado de ala rotatoria. Este tipo de UAVs usan su motor principal para el despegue y el aterrizaje, pero además incluyen uno o más motores para proporcionar empuje hacia adelante durante el vuelo de crucero. Los UAVs tipo girodino son más eficientes que los autogiros, ya que no se necesita la autorrotación y también minimizan los efectos adversos de la pérdida por retroceso de la pala de heli-



Fig. 3: Lado izquierdo, el Shadow 200 (RQ-7B), y lado derecho, el Rustom-1



Fig. 4: Lado izquierdo, el X-47B, y lado derecho, el X-47A

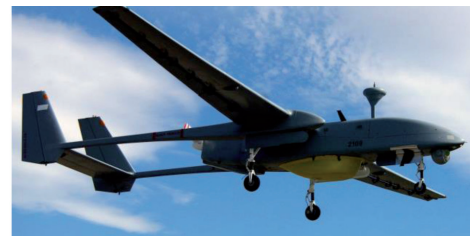


Fig. 5: Lado izquierdo, el Elbit Skylark 1, y lado derecho, el IAI Heron



Fig. 6: Lado izquierdo, el Global Hawk, y lado derecho, el Proteus

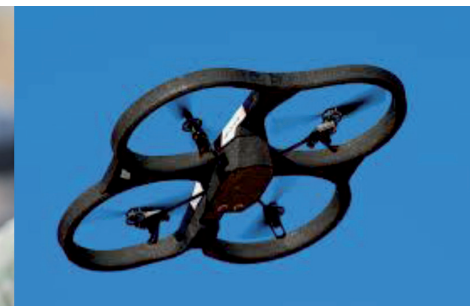


Fig. 7: Lado izquierdo, el Black Hornet Nano (Foto: Richard Watt/MOD), y lado derecho, el helicóptero tipo cuatrirrotor Parrot AR Drone

cóptero, todo ello a costa de una mayor complejidad.

Los UAVs de ala rotatoria también se pueden clasificar atendiendo al número de rotores, que por lo general oscila entre tres (tricopters), y ocho (octocopters), siendo sin duda, cuatro rotores (quadrotors) la configuración de UAVs más común. Las

configuraciones más típicas se muestran en la figura 9 (lado derecho). Por lo general, un mayor número de motores, simplemente implica más sustentación, ya que hay más motores que producen empuje. Prototipos monorotor se han desarrollado también, tal como el UAV tipo esférico presentado en 2011 por el Ministerio de

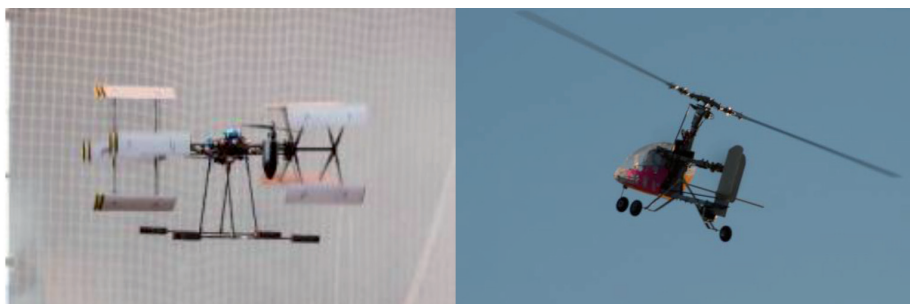


Fig. 8: Lado izquierdo, un prototipo de UAV tipo ciclogiro desarrollado por la Northwestern Polytechnical University en China y en el lado derecho, un modelo de UAV tipo autogiro desarrollado por FUVEX



Fig. 9: Lado izquierdo, el girodino QH 50 DASH, y lado derecho, las configuraciones más habituales para los rotores en UAVs tipo helicóptero multirrotores

Defensa de Japón, que utiliza superficies de control para compensar la rotación de guiñada. Hay también ejemplos recientes de vehículos aéreos no tripulados con un gran número de rotores. Por ejemplo, la NASA desarrolló últimamente un UAV con 10 rotores, que afirma que es cuatro veces más eficiente aerodinámicamente en cruce que un helicóptero estándar.

Un último tipo de UAVs, es el llamado UAV de ala batiente, donde los movimientos de rotación de los motores se transforman en un movimiento de aleteo de algún tipo de alas flexibles. Este tipo de UAVs están diseñados principalmente para micro UAVs, denominados FWMAV y tienen un gran componente de bio-inspiración en su diseño, siendo actualmente foco de la investigación tanto en su modelado [9], así como en los actuadores y diseño de las alas [10].

3. CONCLUSIONES

La aviación no tripulada es tan antigua como la tripulada, pero en los últimos

tiempos el mercado UAS / RPAS se está desarrollando muy rápidamente, principalmente debido al aumento del número de misiones civiles / comerciales interesantes y prometedoras. Del mismo modo, también han surgido un gran número de plataformas con configuraciones y rendimientos muy diferentes. Sin embargo, para una perfecta integración de las operaciones civiles y comerciales de estas aeronaves, habrá que resolver varios problemas.

Los desafíos a abordar en un futuro próximo vendrán de la mano del desarrollo y la correcta aplicación de los siguientes aspectos:

- Nuevas tecnologías, nuevos materiales, configuraciones y rendimiento bio-miméticos, funcionamiento totalmente autónomo, capacidad de "ver y evitar", etc.
- Nuevos "roles": evolución similar a la de los aviones tripulados en misiones completamente nuevas, que nunca han sido llevadas a cabo por cualquier otro tipo de aeronave,

como el transporte aéreo automático de carga y transporte de pasajeros.

- Nuevos retos: para seguir desarrollando la aviación no tripulada, y las aeronaves no tripuladas en concreto, una mayor fiabilidad, un marco normativo adecuado y una cartera estable de pedidos son requisitos indispensables.

PARA SABER MÁS

- [1] Department of Defense, "Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms", Joint Publication 1-02, 2010 (revisado 2015).
- [2] Ministry of Defence and Military Aviation Authority, "MAA02: Military Aviation Authority Master Glossary", Issue 6, 2015.
- [3] International Civil Aviation Organization, "Unmanned Aircraft Systems", Circular 328, AN/190, 2011.
- [4] Austin, R. "Unmanned aircraft systems: UAVs design, development and deployment". Chichester: Wiley, 2010, 332 p., ISBN 978-0-470-05819-0.
- [5] Newcome, L.R. "Unmanned aviation. A brief history of Unmanned Aerial Vehicles". AIAA, Reston, Virginia, 2004, 171 p., ISBN 1-56347-644-4.
- [6] Plataforma Aeroespacial Española. "Sistemas de Vehículos no Tripulados (UAS). Visión Estratégica Española". Doc. N°: PAE/Doc-UA/1006 (disponible en <http://www.plataforma-aeroespacial.org/>). 2010.
- [7] Charles Gablehouse, "Helicopters and autogiros: A history of rotating-wing and V/STOL aviation", Lippincott (revised edition) 1969.
- [8] Simon Newman "The foundations of helicopter flight" Edward Arnold, 1994.
- [9] Ranjana Sahai, Kevin C. Galloway, Michael Karpelson, and Robert J. Wood, "A Flapping-Wing Micro Air Vehicle with Interchangeable Parts for System Integration Studies", 2012 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [10] J. Caetano, C. de Visser, G. de Croon, B. Remes, C. de Wagter, J. Verboom, M. Mulder "Linear Aerodynamic Model Identification of a Flapping Wing MAV Based on Flight Test Data", International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition (IMAV2013).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el soporte económico dado por el Ministerio Economía y Competitividad a través de los proyectos DPI2010-20751-C02-01 y DPI2014-60139-R, así como al CSIC por la beca JAE-Predocdoctoral concedida a uno de los autores.